



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIOENGINEERING

DETEKTOR ZMĚNY POLOHY PRACUJÍCÍ V SÍTI IOT

MOVEMENT DETECTOR FOR IOT NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Beňo

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Erik Herceg

BRNO 2020

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Elektronika a komunikační technologie**

Ústav radioelektroniky

Student: Michal Beňo

ID: 195572

Ročník: 3

Akademický rok: 2019/20

NÁZEV TÉMATU:

Detektor změny polohy pracující v síti IoT

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte technologii bezdrátového přenosu dat pomocí sítí IoT (LoRa, Sigfox, NB-IoT). S pomocí vývojového kitu na platformě STM32 ověřte správnou funkčnost posílání dat a vypočítejte předpokládanou dobu provozu na akumulátor. Zvolte vhodný modul pro připojení zařízení do sítě IoT s důrazem na nízkou vlastní spotřebu energie. Navrhněte obvodové schéma zařízení, jehož součástí budou senzory potřebné k detekci změny polohy (akcelerometr, magnetometr, teploměr). Navrhněte desku plošných spojů.

Navrhněte chování zařízení a vytvořte vývojové diagramy důležitých funkcí. Implementujte firmware s využitím vývojových kitů tak, aby byl detektor schopen odesílat následující data: napětí baterie, ID, změnu náklonu zařízení a magnetické orientace, teplotu a vlastní diagnostiku zařízení. Pomocí terminálu zaznamenávejte zasílaná data po sběrnici a signalizujte vysílání do sítě Lora, využijte LoraWan modul. Data by měla být odesílána v pravidelných intervalech a vždy při změně polohy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] HANES, D. IOT fundamentals: networking technologies, protocols, and use cases for the internet of things. 3rd edition. Indianapolis, IN: Cisco Press, 2017. ISBN 978-1-58714-456-1.
- [2] FRADEN, J. Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications. 4th ed. New York: Springer, c2010. ISBN 978-1-4419-6465-6.

Termín zadání: 3.2.2020

Termín odevzdání: 4.6.2020

Vedoucí práce: Ing. Erik Herceg

prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá vývojom zariadenia detekujúce zmenu polohy, ktoré bude pracovať v sieti IoT, konkrétne na LoRa technológií. Zariadenie bude napájané akumulátorom a hlavná požiadavka preto je navrhnuť toto zariadenie v Low Power modifikácií. Práca sa skladá z teoretickej časti, ktorá sa zameriava na základné princípy IoT a technológiách, ktoré do IoT spadajú. Praktická časť popisuje súčasti samotného senzoru, schému a návrh.

Kľúčová slova

LoRa, LoRaWAN, LPWAN, IoT, STM32, RN2483, MPU9250

Abstract

This thesis deals with the development of a position change device that will work in the IoT network, specifically on LoRa technologies. The device will be powered by the battery and the main requirement is therefore to design this device in Low Power mode. The work consists of a theoretical part that will bring the reader closer to the basic principles of IoT and to the technologies that belong to IoT. The practical part describes the components of the sensor itself, the schema and design of the PCB.

Keywords

LoRa, LoRaWAN, LPWAN, IoT, STM32, RN2483, MPU9250

BEŇO, Michal. *Detektor změny polohy pracující v síti IoT* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-01]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127333>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky. Vedoucí práce Erik Herceg.

Prehlásenie

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Detektor změny polohy pracujících v síti IoT jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne:

.....

podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Erikovi Hercegovu za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V Brně dne:

.....

podpis autora

Obsah

Úvod.....	11
1. Technológie Internet of Things.....	12
1.1 Sigfox.....	12
1.2 NB-IoT.....	13
2. LoRaWAN.....	14
2.1 LoRa.....	14
2.2 Architektúra siete.....	14
2.3 End-Node.....	15
2.4 Gateway.....	15
2.5 Network Server.....	15
2.6 Komunikačný protokol.....	16
2.7 Spôsob pripojenia zariadenia.....	17
3. Praktická Časť.....	18
3.1 Overenie správnej funkčnosti posielania dát na GW.....	18
3.2 Výber vhodných komponentov.....	19
3.2.1 Mikroprocesor.....	19
3.2.2 Komunikačný modul LoRa.....	20
3.2.3 Pohybový senzor.....	20
3.2.4 Power management.....	20
3.3 Výpočet doby prevádzky na akumulátor.....	20
3.4 Návrh obvodovej schémy zariadenia.....	21
3.4.1 Mikroprocesor.....	21
3.4.2 Senzor.....	23
3.4.3 LoRa modul.....	23
3.4.4 Napájanie.....	24
3.5 Návrh dosky plošných spojov.....	25
3.6 Princíp činnosti zariadenia.....	27
3.7 Implementácia firmwaru pomocou vývojových kitov.....	29
3.7.1 Spustenie.....	30
3.7.2 Inicializácia LoRa.....	31
3.7.3 Podmienky posielania dát.....	35

3.7.4	Formulácia správy a jej odoslanie	35
4.	Záver	38

Zoznam znakov a skratiek

Skratky:

IoT	...	Internet of Things
LPWAN	...	Low Power Wide Area Network
LPWA	...	Low Power Wide Area
NB-IoT	...	Narrow Band
GSM	...	Global Mobile Communications
WCDMA	...	Wide Code Division Multiple Access
LoRa	...	Long Range
FSK	...	Frequency-shift keying
CSS	...	Chirp spread spectrum
TCP	...	Transmission Control Protocol
IP	...	Internet Protocol
ABP	...	Activation by Personalization
OTAA	...	Over-the-Air Activation
MEMS	...	Micro-Electro-Mechanical Systems
MCU	...	Microcontroller unit
PIC	...	Peripheral Interface Controller
LDO	...	Low-dropout
GPIO	...	General-purpose input/output

Symboly:

I	...	Prúd	[A]
Q	...	Elektrický náboj	[Q]

Zoznam obrázkov

Obr. 3-1 Overenie správnosti nadviazania komunikácie End-node a GW	18
Obr. 3-2 Nastavenie pinov v programe STM32CUBEMX	19
Obr. 3-3 Schéma zapojenia mikroprocesoru.....	22
Obr. 3-4 Odporúčané zapojenie NRST pinu [STM32 DATASHEET]	22
Obr. 3-5 Zapojenie pohybového senzoru LSM303AGR	23
Obr. 3-6 Zapojenie LoRa modulu RN2483	23
Obr. 3-7 Zapojenie napájacieho obvodu.....	24
Obr. 3-8 DPS s detailom na STM32 vrstva TOP.....	25
Obr. 3-9 Rozmiestnenie súčiastok	26
Obr. 3-10 Vrstva Bottom	26
Obr. 3-11 Vývojový diagram základného princípu činnosti zariadenia	28
Obr. 3-12 Bloková schéma zapojenia vývojových kitov	29
Obr. 3-13 Získanie hodnôt upravujúcich citlivosť magnetometru.....	30
Obr. 3-14 Postupnosť konfigurácie a pripojenie na LoRa sieť	31
Obr. 3-15 Proces na odoslanie požiadavky ku zisteniu EUI čísla	33
Obr. 3-16 Proces získania EUI čísla	34
Obr. 3-17 Vysielané dáta po USART	37

Zoznam tabuliek

Tab. 2-1 Porovnanie špecifikácií pre Európu a Severnú Ameriku [10].....	16
Tab. 2-2 Špecifické nastavenia pre komunikáciu [14].....	16
Tab. 3-1 Prúdový odber jednotlivých súčiastok [datasheety]	21
Tab. 3-2 Stavby pre pin CHG	25

ÚVOD

Nový trend v oblasti komunikácií a kontroly predmetov, ktoré denne využívame, denne s nimi komunikujeme, či ich ovládame a to najmä prostredníctvom technológie bezdrôtového prenosu dát a internetu sa nazýva Internet vecí (Internet of Things, IoT). Poprepájané zariadenia sú využité na zber dát, ktoré sa následne spracúvajú a využívajú v rôznych oblastiach ako sú doprava, vojenský priemysel či zdravotníctvo. Medzi najrozšírenejší odbor, kde sa daná technológia využíva je výstavba inteligentných domov, kde sa uplatňujú inteligentné elektroinštalácie. Medzi ne patria diaľkovo ovládané zásuvky a osvetlenia, rôzne senzory ako napríklad senzor teploty, vlhkosti či súmrakové snímače. Tieto technológie síce nesú spoločný názov, Internet vecí, no v dnešnej dobe nespolupracujú pod jednou technológiou ani spoločným protokolom [1]. A tu nastáva problém pre aktuálne bezdrôtové štandardy ako sú napríklad WiFi, mobilné siete alebo Bluetooth, keď potrebujeme pripojiť veľké množstvo zariadení do jednej bezdrôtovej siete ale zároveň požadujeme určitú energetickú úsporu. Preto vznikajú nové technológie, ktoré sa radia do kategórie LPWAN – Low Power Wide Area Network. Požiadavky na tieto technológie vyplývajú z názvu ich kategórie:

- Nízka energetická spotreba počas komunikácie
- Dostatočne veľký dosah rádiovkej komunikácie
- Dostatočná rýchlosť prenosu
- Možnosť pripojiť veľké množstvo zariadení do jednej siete.

Ako príklad na demonštráciu si môžeme predstaviť inteligentnú chladničku pripojenú na internet. Chladnička bude vybavená senzormi, kamerou a čítačkou čiarových kódov. Chladnička bude vedieť, akú potravinu ste do nej vložili, jednotlivé dátumy spotreby a po minútí danej potraviny bude schopná ju sama objednať. Ako ďalší príklad uvediem z omnoho užitočnejšej praxe. Vo veľkomeste sa nachádza niekoľko tisícok požiarnych hydrantov. Aby bola monitorovaná ich funkčnosť pre prípad potreby, každý bude obsahovať tlakový senzor napojený na komunikačný modul. Následne sa niekoľko krát do dňa vykoná meranie tlaku vody v hydrantovom potrubí a údaj sa prenesie z hydrantu cez bránu až do riadiaceho strediska, kde budú všetky hydranty z mesta monitorované [2].

1. TECHNOLÓGIE INTERNET OF THINGS

1.1 Sigfox

Sigfox je názov francúzskej spoločnosti založenej v roku 2009, ktorá stavia bezdrôtové siete pre pripojenie nízkoenergetických zariadení ako sú elektromery, inteligentné hodinky a práčky, ktoré musia byť neustále zapnuté a vysielajú malé množstvo dát [3]. Sigfox využíva patentovanú technológiu, ktorá umožňuje komunikáciu pomocou rozhlasového pásma ISM (industrial, scientific a medical), ktoré sa v Európe šíri na frekvencii 868 MHz a 902 MHz v USA. Sigfox používa signál s dlhým dosahom, ktorý voľne prechádza cez pevné objekty, tzv. "Ultra Narrowband", a na ktorého vyžarovanie je treba len málo energie. Sieť je založená na hviezdicovej topológií, kedy medzi každými dvoma stanicami existuje vždy len jedna cesta, a vyžaduje mobilného operátora, ktorý zaisťuje beh komunikácie [4]. Signál môže ľahko pokryť veľkú plochu a dosiahne k podzemným objektom [5].

Sigfox spolupracuje s radom firiem v LPWAN priemysle, ako sú Texas Instruments, Silicon Labs a ON Semiconductor. ISM pásmo podporuje len obmedzenú obojsmernú komunikáciu. Existujúci štandard pre Sigfox komunikáciu podporuje až 140 uplink správ denne, z ktorých každá môže niesť dáta o veľkosti 12 bajtov a až 4 downlink správ za deň, z ktorých každý môže niesť 8 bajtov. K tomuto množstvu dát sa ešte pripočítava hlavička správy, ktorá obsahuje potrebné informácie pre doručenie správy.

Medzi hlavné výhody siete Sigfox patrí [6]:

- menšia veľkosť hlavičky (26 bajtov) ako u zariadení využívajúce IP adresy (40 bajtov);
- vďaka nízkej prenosovej rýchlosti a malému objemu odosielaných dát môžu mať batérie v zariadení výdrž až 15 rokov;
- vo voľnej krajine je dosah signálu k základňovej stanici až 50 km;
- sieť je vysoko odolná voči rušeniu;
- zneužitia siete je takmer nemožné;
- lacná obstarávacia cena modulov.

1.2 NB-IoT

Narrowband Internet of Things (NB-IoT) je nová LPWA sieť vytvorená skupinou 3GPP poskytujúca pripojenie koncových zariadení v licencovaných pásmach využívaných pre mobilné komunikačné siete. To znamená, že na rozdiel od zdieľaných pásiem, ktoré sú rušené, budú môcť objekty pripojené do tejto siete komunikovať za lepších rádiových podmienok komunikačného kanálu. Technológia je navrhnutá tak, aby neobmedzovala prevádzku GSM, WCDMA a LTE. NB-IoT poskytuje veľké pokrytie, možnosť pripojiť veľa zariadení a ich nízku energetickú náročnosť no najmä bezpečnosť pre zákazníkov [7]. Taktiež sľubuje zlepšenie pokrytia v budovách. Aby bolo možné čo najlepšie využiť spektrum, NB-IoT bol navrhnutý s možnosťami aplikácií pre GSM, WCDMA a LTE [8]:

- Standalone – záměna GSM nosiča za NB-IoT nosič
- In-band – pomocou flexibilného využitia časti LTE nosiča
- Guard-band (tzv. ochranné pásmo) – v sieti WCDMA alebo LTE.

Parametre siete [9]:

- Šírka pásma 200 kHz
- Dosah 15 Km (164 dB)
- Licencované pásmo 7-900 MHz
- Prenosová rýchlosť 50 kbps.

2. LORAWAN

Zatiaľ, čo LoRa zabezpečuje fyzickú vrstvu umožňujúcu spojenie na dlhé vzdialenosti tak LoRaWan, ktorý spravuje LoRa Alliance definuje komunikačný protokol a architektúru systému siete. Protokol a architektúra siete majú najväčší vplyv na výdrž zariadenia napájaného batériou, kapacitu siete, kvalitu a bezpečnosť poskytovanej služby a rozmanitosť aplikácií poskytovaných sieťou.

2.1 LoRa

LoRa, čiže Long Range, je fyzická vrstva, ktorá tvorí komunikačné spojenie na dlhé vzdialenosti za pomoci bezdrôtovej modulácie. K dosiahnutiu vlastností Low Power mnoho bezdrôtových systémov využíva ako fyzickú vrstvu Frequency-shift keying (FSK) – kódovanie frekvenčným posuvom. FSK využíva na prenos binárnych dát jednu nosnú frekvenciu. Logickú jednotku predstavuje vyššia frekvencia a logickú nulu zas nižšia frekvencia. LoRa je založená na technike rozprestierania spektra (Chirp Spread Spectrum – CSS). [10]

Táto technika je založená na lineárnom rozprestieraní frekvencie s rastúcim časom. Pod pojmom Upchirp rozumieme zvyšovanie frekvencie s rastúcim časom a Downchirp znižovaním frekvencie s rastúcim časom. Výhodou tejto metódy je rovnakosť časovacích a frekvenčných offsetov medzi vysielačom a prijímačom čo zjednodušuje konštrukciu prijímača. Spektrálna šírka pásma signálu a šírka pásma chirpu sú rovnaké [11]. Signál je dobre rozpoznávaný aj v úrovni šumu, pri nízkom výkone a je odolný voči Dopplerovmu javu. [12]

Spomínaná metóda je výhodnejšie v porovnaní s metódou FSK, kvôli výraznému zvýšeniu komunikačnej vzdialenosti.

CSS je používaná mnohé roky vo vojenskom a vesmírnom priemysle, no prvé komerčné využitie pozorujeme práve v LoRa aplikáciách.

Výhodou technológie Lora je schopnosť ďalekého dosahu. Samostatná Gateway – brána, dokáže za určitých podmienok pokryť celé mestá alebo okruh v rádiuse niekoľkých desiatok kilometrov. Faktory, ktoré tento dosah ovplyvňujú, sú predovšetkým členitosť terénu a mestská infraštruktúra [13].

2.2 Architektúra siete

Sieť je štruktúrovaná tak, aby bola spoľahlivá a bezpečná. Štruktúra siete začína hardvérom end-node, ktoré odosielať dáta prostredníctvom LoRaWan siete do hardvérového Gateway. Po prijatí správy je správa poslaná pomocou TCP/IP protokolu na Network Server. Jedná sa o softvérovú záležitosť, ktorá musí spĺňať LoRaWan protokoly. Následne sú dáta odoslané taktiež pomocou TCP/IP protokolu na aplikačný server, ktorý však už nie je povinnou súčasťou štruktúry siete.

2.3 End-Node

Zariadenie nachádzajúce sa na začiatku štruktúry siete je asynchrónne a komunikuje vždy, keď má pripravené dáta na odoslanie. To môže byť naplánované alebo vyvolané vopred definovanou udalosťou. Každé End-node zariadenie musí obsahovať komunikačný modul, ktorý umožňuje komunikáciu. Každé End-node zariadenie má svoje 8 bajtové špecifické číslo EUI slúžiace na zaregistrovanie zariadenia do siete.

End-node sa rozdeľujú do 3 tried podľa druhu aplikácie, na ktorú sú využívané:

Trieda A: Čas a perióda prenosu je plánovaná iba koncovým zariadením a je založená na vlastnej potrebe komunikácie zo strany end-node aj keď sa jedná o obojsmernú komunikáciu. Uplink môže byť uskutočnený hocikedy a je nasledovaný 2 krátkymi downlink správami. Kategória A je určená pre nízko energetické aplikácie, kedy zariadenie po uplink udalosti očakáva v krátkom časovom horizonte odpoveď zo serveru. Ak odpoveď príde neskôr, ako zariadenie čakalo, správa sa preberie až po nasledujúcom uplinku.

Trieda B: Aplikácie, ktoré potrebujú komunikovať v presne stanovený čas patria do kategórie B. Na to slúži takzvaný „beacon“ signál, ktorý vysiela Gateway a obsahuje informáciu s časom, ktorý je potrebný na synchronizáciu end-node so serverom. Po zosynchronizovaní je prenos zhodný s prenosom v triede A.

Trieda C: Zariadenie je v stave neustáleho prijímania až na chvíle, kedy odosiela správu. Táto kategória je energeticky náročná a používa sa v aplikáciách, kde sa neberie ohľad na spotrebu energie [10].

2.4 Gateway

Gateway tvorí spojenie medzi Network Serverom a End-node. Dokáže prijať správy až z tisícok End-node a posiela ich ďalej na Network Server. Gateway musí mať stabilné pripojenie k internetu. Počet pripojených zariadení na Gateway nie je presne určený, no treba brať ohľad na to, že čím viac zariadení je na neho pripojených, tým klesá množstvo správne prijatých správ [13]. Taktiež aj Gateway má svoje špecifické 8 bajtové číslo slúžiace na registráciu.

2.5 Network Server

Softvérová časť tvoriaca hlavnú úlohu v architektúre siete. Network Server je miesto, kde je definovaná aplikácia a zariadenia, ktoré do danej aplikácií patria. To umožňuje, že zaregistrovaný End-node sa dokáže pripojiť na ktorýkoľvek Gateway, ktorý je zaregistrovaný v danej aplikácii. Network server overuje platnosť dát a následne ich TCP/IP protokolom odosiela na aplikačný server [10].

2.6 Komunikačný protokol

Bližšie špecifikácie ohľadom nastavenia komunikačného protokolu závisia najmä od regiónu. LoRaWAN protokol rozlišuje až 6 regiónov: Európa, Severná Amerika, Čína, Kórea, Japonsko a India. Špecifikácie pre Európu sú uvedené nižšie.

Tab. 2-1 Porovnanie špecifikácií pre Európu a Severnú Ameriku [10]

	Europe	North America
Frequency band	867-869MHz	902-928MHz
Channels	10	64 + 8 +8
Channel BW UP	125/250kHz	125/500kHz
Channel BW Dn	125kHz	500kHz
TX Power Up	+14dBm	+20dBm typ (+30dBm allowed)
TX Power Dn	+14dBm	+27dBm
SF Up	7-12	7-10
Data rate	250bps-50kbps	980pbs-21,9kpbs
Link Budget Up	155dB	154dB
Link Budget Dn	155dB	157dB

Tab. 2-2 Špecifické nastavenia pre komunikáciu [14]

Data Rate	SF	Šírka prenosového pásma [kHz]	Prenosová rýchlosť [baud]	Citlivosť prijímača [dBm]
0	12	125	292	-136
1	11	125	537	-133
2	10	125	976	-132
3	9	125	1757	-129
4	8	125	3125	-126
5	7	125	5468	-123
6	7	250	10937	-120
7	modulácia FSK		50 k	-108

2.7 Spôsob pripojenia zariadenia

Protokol LoRaWAN overuje platnosť End-node v sieti 2 spôsobmi.

Activation By Personalization (ABP)

Aktivácia zariadenia prebieha bez odpovede serveru. Server až do okamihu prijatia správy nevie, či bude správa platná alebo nie. Rozhodne tak na základe špecifických znakov zariadenia. Používateľ pri registrácii zariadenia do neho ukladá parametre:

- DevAddr (8 bajtov, určuje poskytovateľ siete)
- NwkSKey (16 bajtov, určuje poskytovateľ siete)
- AppSKey (16 bajtov, určuje poskytovateľ siete)

Prenos začína tzv. Join Request zo strany End-node ale nevyžaduje sa potvrdenie od serveru.

Over-the-Air Activation (OTAA)

Jedná sa o úplne odlišnú metódu aktivácie. Pred prenosom sa do zariadenia uložia parametre:

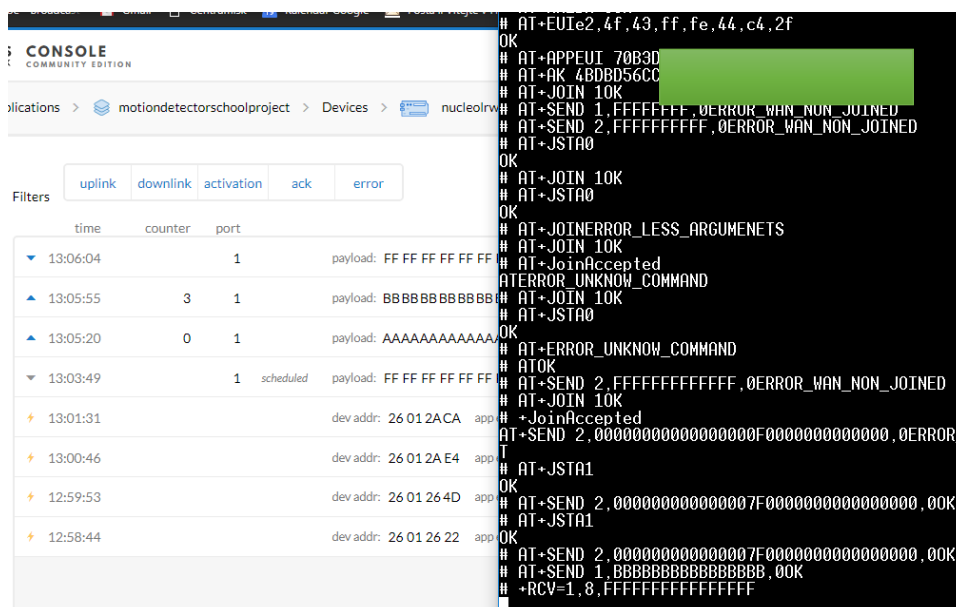
- AppEUI (8 bajtov, určuje poskytovateľ siete)
- DevEUI (8 bajtov, určuje poskytovateľ siete)
- AppKey (16 bajtov, určuje poskytovateľ siete)

Prenos začína taktiež Join Request, ktorý obsahuje AppEUI a DevEUI. Následne sa očakáva odpoveď so správnym pripojením na GW. AppKey spolu s NwkSKey a AppSKey umožňujú bezpečnú komunikáciu so serverom. [15]

3. PRAKTICKÁ ČASŤ

3.1 Overenie správnej funkčnosti posielania dát na GW

Na vývojom kите od STMicroelectronics s procesorom STM32L0XX a komunikačným modulom pre LoRa bolo ako prvým cieľom overiť správnosť odosielania dát na GW. Ako vývojový kit bol zvolený shield od STMicroelectronics, I-NUCLEO-LRWAN1. Tento shield obsahuje modul od značky USI, na ktorom sa nachádzal procesor STM32L052T8Y6, ktorý pomocou SPI komunikačného rozhrania komunikoval a posielal dáta do modulu SX1272 od firmy SEMTECH. Procesor mal od výroby nahraný softvér pre UART komunikáciu. Ako prvé bolo potreba si na webe <https://www.thethingsnetwork.org/> zriadiť aplikáciu, do ktorej boli následne pridané Gateway a End-node. Pomocou UART komunikácie a OTAA overenia som cez terminál PC podľa AT príkazov nakonfiguroval a pripojil zariadenie na GW a overil správnosť prijatých dát na základe dát poslaných.



time	counter	port	payload
13:06:04	1		payload: FF FF FF FF FF FF
13:05:55	3	1	payload: BBBB BBBB BBBB
13:05:20	0	1	payload: AAAAAAAAAA
13:03:49	1	scheduled	payload: FF FF FF FF FF FF
13:01:31		dev addr: 26 01 2ACA	app
13:00:46		dev addr: 26 01 2AE4	app
12:59:53		dev addr: 26 01 264D	app
12:58:44		dev addr: 26 01 26 22	app

```
# AT+EUte2,4f,43,ff,fe,44,c4,2f
OK
# AT+APPEUT 70B3D
# AT+AK 4BDBD56CC
# AT+JOIN 10K
# AT+SEND 1,FFFFFFFF,0ERROR_WAN_NON_JOINED
# AT+SEND 2,FFFFFFFF,0ERROR_WAN_NON_JOINED
# AT+JSTA0
OK
# AT+JOIN 10K
# AT+JSTA0
OK
# AT+JOINERROR_LESS_ARGUMENTETS
# AT+JOIN 10K
# AT+JoinAccepted
# ATERROR_UNKNOW_COMMAND
# AT+JOIN 10K
# AT+JSTA0
OK
# AT+ERROR_UNKNOW_COMMAND
# ATOK
# AT+SEND 2,FFFFFFFF,0ERROR_WAN_NON_JOINED
# AT+JOIN 10K
# AT+JoinAccepted
# AT+SEND 2,0000000000000000F0000000000000,0ERROR_
# AT+JSTA1
OK
# AT+SEND 2,00000000000000007F00000000000000,0OK
# AT+JSTA1
OK
# AT+SEND 2,00000000000000007F00000000000000,0OK
# AT+SEND 1,BBBBBBBBBBBBBBBB,0OK
# +RCV=1,8,FFFFFFFFFFFFFFFF
```

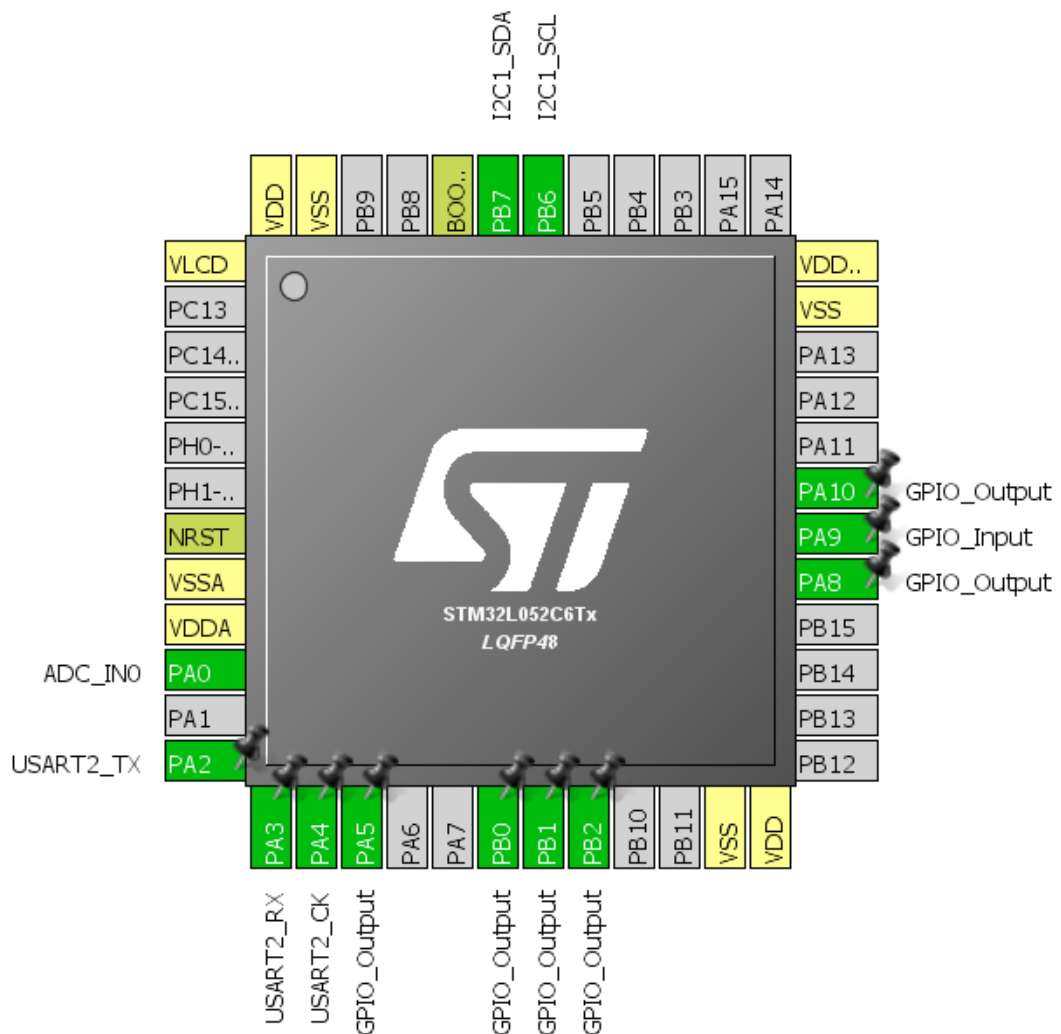
Obr. 3-1 Overenie správnosti nadviazania komunikácie End-node a GW

3.2 Výber vhodných komponentov

Low Energy zariadenie napájané batériou a na to treba brať ohľad aj pri jeho navrhovaní a výbere súčiastok.

3.2.1 Mikroprocesor

Výrobca a typ procesoru bol už na začiatku práce jasne daný. Firma STMicroelectronics prišla na trh s radou procesorov STM32 L0, čo predstavuje Ultra-Low-Power radu. Zvolil som typ STM32L052C6T6. V stand-by režime je podľa datasheetu možné dosiahnuť odber len 0.23 uA s 2 aktívnymi Wake-up pinmi a v režime Run je možné minimalizovať odber len na 49 uA na MHz [16].



Obr. 3-2 Nastavenie pinov v programe STM32CUBEMX

3.2.2 Komunikačný modul LoRa

Modul RN2483 od firmy Microchip založený na modeme Semtech SX1276, ktorý obsahuje všetky potrebné RF filtre pre certifikované používanie v Európe. Taktiež obsahuje PIC procesor, ktorý umožňuje jednoduchú komunikáciu modulu s externým MCU pomocou UART komunikácie. Prúdový odber modulu je $1,6\mu\text{A}$ v sleep mode a $38,9\text{mA}$ vo vysielacom móde [17].

3.2.3 Pohybový senzor

Kompaktný výkonný senzorový modul LSM303AGR, určený pre zistenie pohybu pozostávajúci z ultra-low-power 3D akcelerometra a 3D magnetometra. Senzor má taktiež zabudovaný tepelný snímač. Na komunikáciu slúžia I2C a SPI zbernice. Jednou z výhod senzoru sú programovateľné prerušenia pri rozoznaní voľného pádu, detekcií pohybu a zmene magnetického poľa.

3.2.4 Power management

Integrovaný obvod STNS01 od firmy STMicroelectronics je lineárny nabíjací obvod pre jednočlánkovú Li-Ion batériu s integrovaným LDO regulátorom a viacerými ochrannými funkciami pre batériu ako sú ochrana proti prebitiu, podbitiu batérie a skratu. Taktiež figuruje vlastnosťou zastaviť nabíjací proces, ak sa pomocou NTC rezistoru umiestneného pod batériou zistí teplota mimo bezpečný rozsah (0°C až 45°C). Obvod používa nabíjací algoritmus konštantný prúd/konštantné napätie. Pomocou externého rezistoru je možné nastaviť prúd pre rýchle nabíjanie až do 200mA .

3.3 Výpočet doby prevádzky na akumulátor

Výpočte doby prevádzky som uvažoval o 2 krajných prípadoch. Prvým je TX mode, kedy bude zariadenie vysielat' non-stop a nikdy neprejde do úsporného režimu. Pre túto možnosť som sa v dokumentáciách zameral na termíny ako sú Run mode, Power mode, Normal mode.

Druhý prípad je Low Power a to znamená, že zariadenie je v úspornom režime, nič sa nevysiela ani neprijíma ale komunikačný modul musí byť v režime Idle, používa sa len jeden senzor a ten pracuje na nižšej frekvencii, procesor je v režime Sleep mode.

Batéria použitá vo výpočte, predstavuje Li-Ion jednočlánkovú batériu s kapacitou 3500mAh .

Tab. 3-1 Prúdový odber jednotlivých súčiastok [16][17][19]

	TX mode	Low Power
STM32	6,3 mA	1 mA
RN2483	38,9 mA	2,8 mA
STNS01	6 μ A	6 μ A
LSM303AGR	200 μ A	12,6 μ A
Spolu	45,4 mA	3,8186 mA

$$t = \frac{Q}{I} \quad (3.1)$$

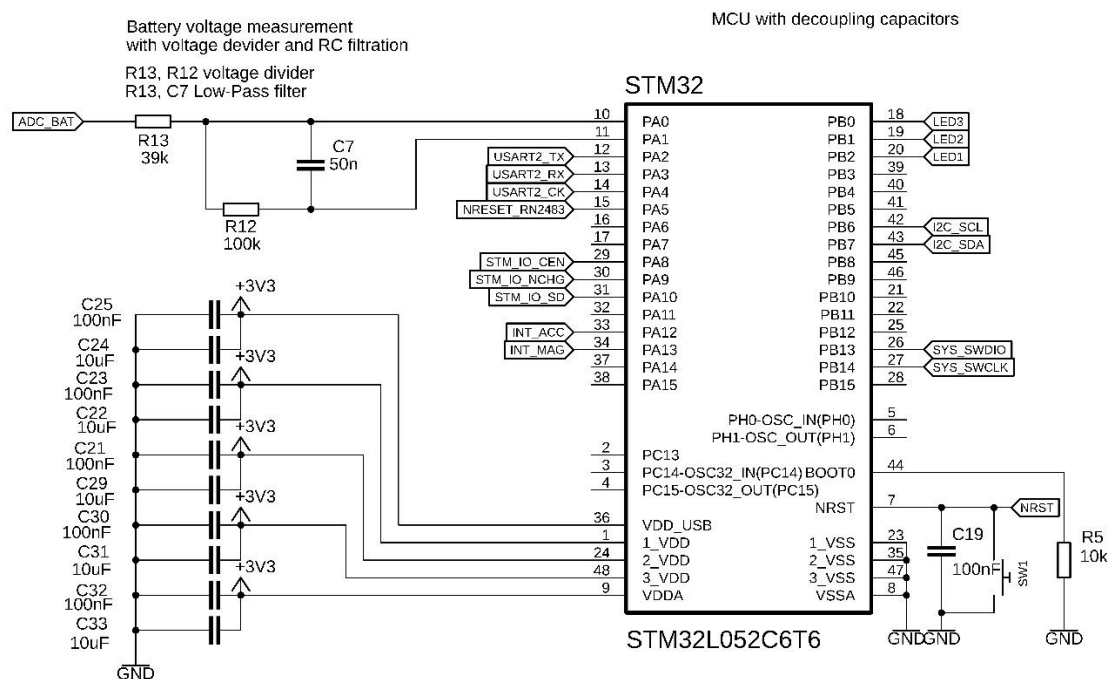
Použitím vzorca (3.1), kde Q je elektrický náboj v mAh a I je odoberaný prúd v mA, dostaneme čas t[h], po ktorý by malo zariadenie v ideálnych podmienkach v prevádzke. Pre TX mode vyšla hodnota času t = 77 hodín, čo predstavuje približne 3 dni. Pre Low Power časový údaj vychádza približne 38 dní. Vo výpočte, nie je zahrnuté samovoľné vybíjanie batérie, ktoré bude mať za následok skrátenie času prevádzky zariadenia na batériu.

3.4 Návrh obvodovej schémy zariadenia

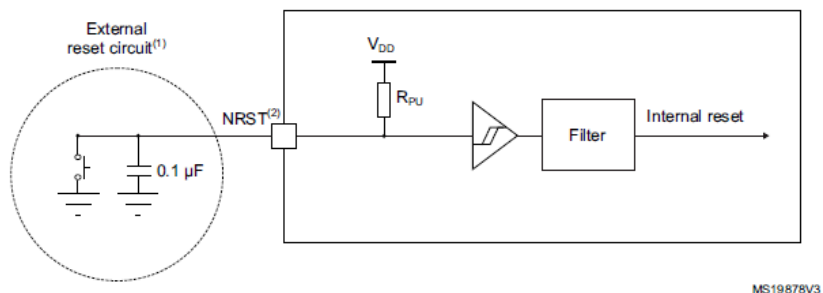
3.4.1 Mikroprocesor

Schéma zapojenia mikroprocesoru STM32 zahŕňa blokovacie kondenzátory napájacích vstupov, ktoré sú v pároch pre každý napájací pin podľa [16]. Pre meranie napätie batérie sa využíva ADC prevodník. Kvôli šetreniu energie je zapojenie dodržané podľa odporúčania výrobcu nabíjacieho integrovaného obvodu. Pin PA0 je ADC prevodník, ktorý má na vstupe kondenzátor pre potlačenie možného AC šumu pri nabíjaní batérie zo spínaného zdroja. Rezistory R13 a R12 tvoria napäťový delič, pomocou ktorého treba znížiť vstupné napätie do ADC, pretože napätie na batérii môže vystúpiť až na 4,2V a referenčné napätie V_{ref} ADC prevodníku je rovnaké ako napätie výstupu LDO ($V_{LDO} = 3,1V$), teda ADC by meralo len do 3,1V.

Na vstupe pinu NRST je vnútorný pull-up rezistor a externé tlačidlo pre reset procesora. Piny PA12 a PA13 slúžia ako vstupy pre prerušenia vyvolané pohybom v pohybovom senzore.



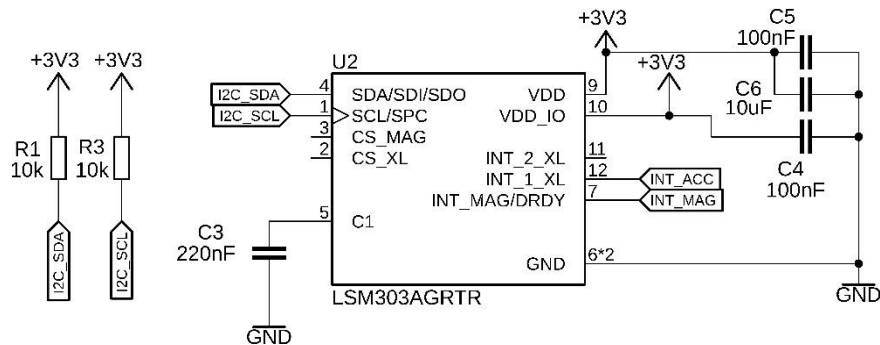
Obr. 3-3 Schéma zapojenia mikroprocesoru



Obr. 3-4 Odporúčané zapojenie NRST pinu [16]

3.4.2 Senzor

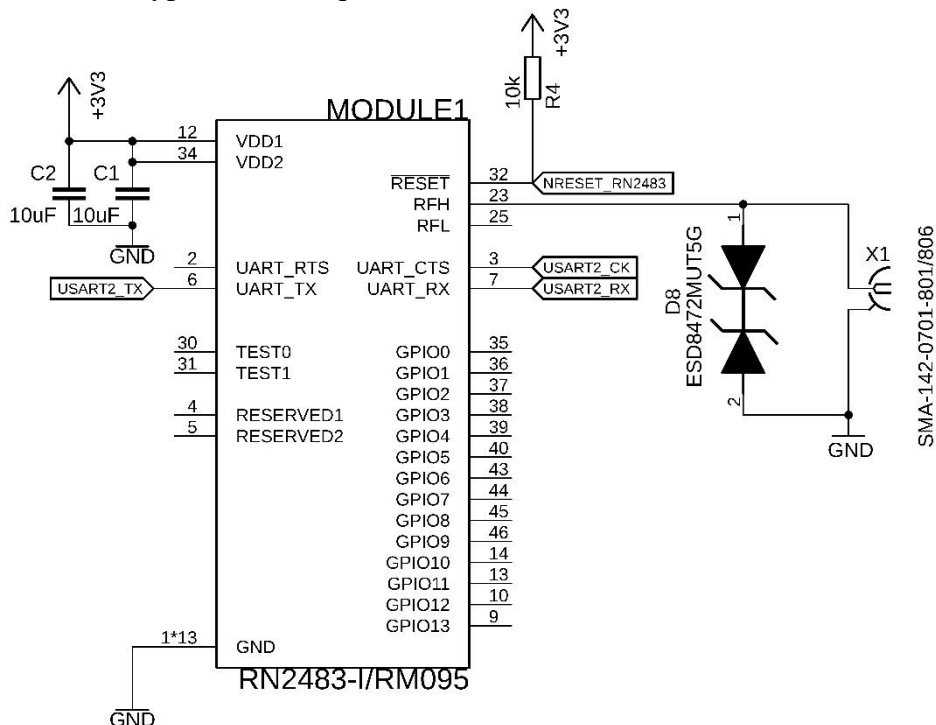
Zapojenie senzoru LSM303AGR je výrobcom jasne dané. Využil som programovateľné prerušenia, ktoré sú pripojené na vstupné piny mikroprocesoru. Senzor s mikroprocesorom komunikuje po I2C zbernici.



Obr. 3-5 Zapojenie pohybového senzoru LSM303AGR

3.4.3 LoRa modul

Zapojenie modulu je jednoduché, pre komunikáciu s mikroprocesorom slúži UART, resetovanie modulu zabezpečuje pin NRESET, ktorý je pripojený ku GPIO pinu mikroprocesoru. Ako RF výstup modulu je zvolený pin RFH (Radio-frequency high), ktorý zodpovedá frekvencii 868MHz. Ako ochrana RF časti proti elektrostatickým výbojom slúži dióda D8 navrhnutá pre RF aplikácie. RF výstup je zakončený anténnym konektorom typu SMA s impedanciou 50Ω.



Obr. 3-6 Zapojenie LoRa modulu RN2483

3.4.4 Napájanie

Napájacia časť obvodu sa skladá z mikro USB konektoru, ktorý slúži na nabíjanie zariadenia. Vstupné napätie +5V je privedené na vstupný pin integrovaného obvodu STNS01. Napájanie celého zariadenia zabezpečuje výstup LDO regulátora. Batéria je pripojená na pin BAT paralelne s kondenzátorom C45 s kapacitou 4,7μF. Výstup BATMS je využitý na meranie napätia batérie pomocou ADC prevodníku v mikroprocesore. Pin SD slúži na vypnutie zariadenia. Ak je na pin SD privedená logická 1, výstup z LDO je odpojený a spotreba elektrickej energie z batérie je znížená až na 500nA. Pripojením správneho napätia V_{IN} sa funkčnosť zariadenia obnoví iba pod podmienkou, že napätie batérie V_{bat} je väčšie ako prahová hodnota napätia podbitia batérie $V_{ODCR} = 3V$. Pin SD je pripojený na interný pull-down rezistor 500kΩ.

Pin CHG signalizuje nabíjanie alebo chybu pomocou LED D1 a výstupu do mikroprocesora. Vstupný pin CEN povoľuje nabíjanie batérie. Má pripojený vnútorný pull-up rezistor. Prechod z log.1 do log.0 a naspäť do log.1 reštartuje nabíjanie ak sa nabíjací cyklus prerušil z dôvodov:

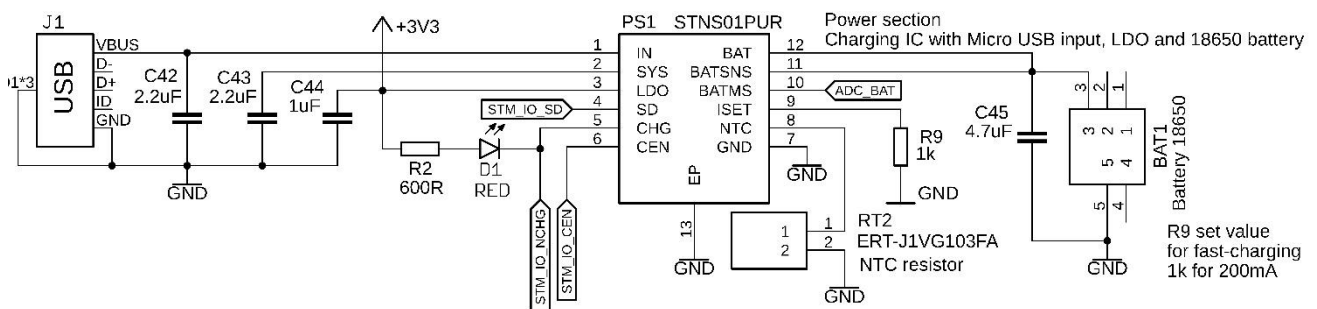
- Nabíjací čas bol prekročený (predbitie, rýchlonabíjanie)
- Napätie batérie je pod hodnotou V_{PRE} po začatí rýchlonabíjania
- Koniec nabíjania

Pomocou pripojeného NTC rezistora na pin NTC sa monitoruje teplota batérie. NTC rezistor musí byť umiestnený, čo najbližšie k batérii. Nabíjací cyklus je pozastavený, ak sa teplota batérie nenachádza v bezpečnom rozsahu (0°C až 45°C).

Konfiguračný pin ISET nastavuje pomocou rezistoru R9 prúd rýchlonabíjania. Pripojením odporu $R_9 = 1k\Omega$ sa nastaví nabíjací prúd $I_{FAST} = 200mA$ podľa rovnice (3.1),

$$I_{FAST} = \frac{V_{ISET}}{R_{ISET}} \cdot K \quad (3.1)$$

kde I_{FAST} je prúd rýchlonabíjania, $V_{ISET} = 1V$ a $K = 200$.



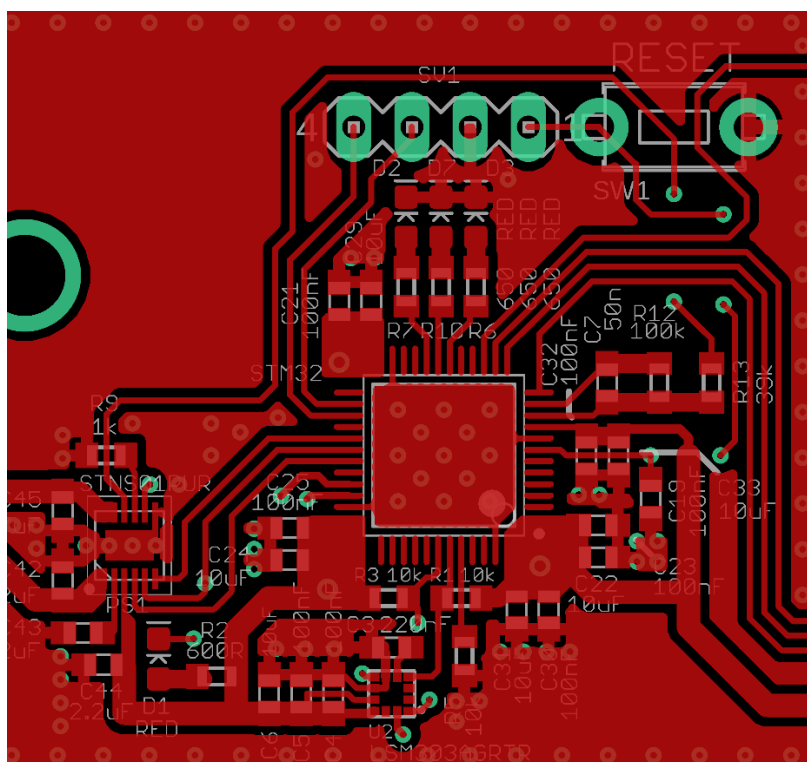
Obr. 3-7 Zapojenie napájacieho obvodu

Tab. 3-2 Stavý pre pin CHG

Device state	CHG pin state
Not charging	High Z
Charging	Low
Battery temperature fault	Toggling
Overcharge fault	Toggling
Charging timeout (pre-charge, fast-charge)	Toggling
Battery voltage below V_{pre} after the fast.charge starts	Toggling

3.5 Návrh dosky plošných spojov

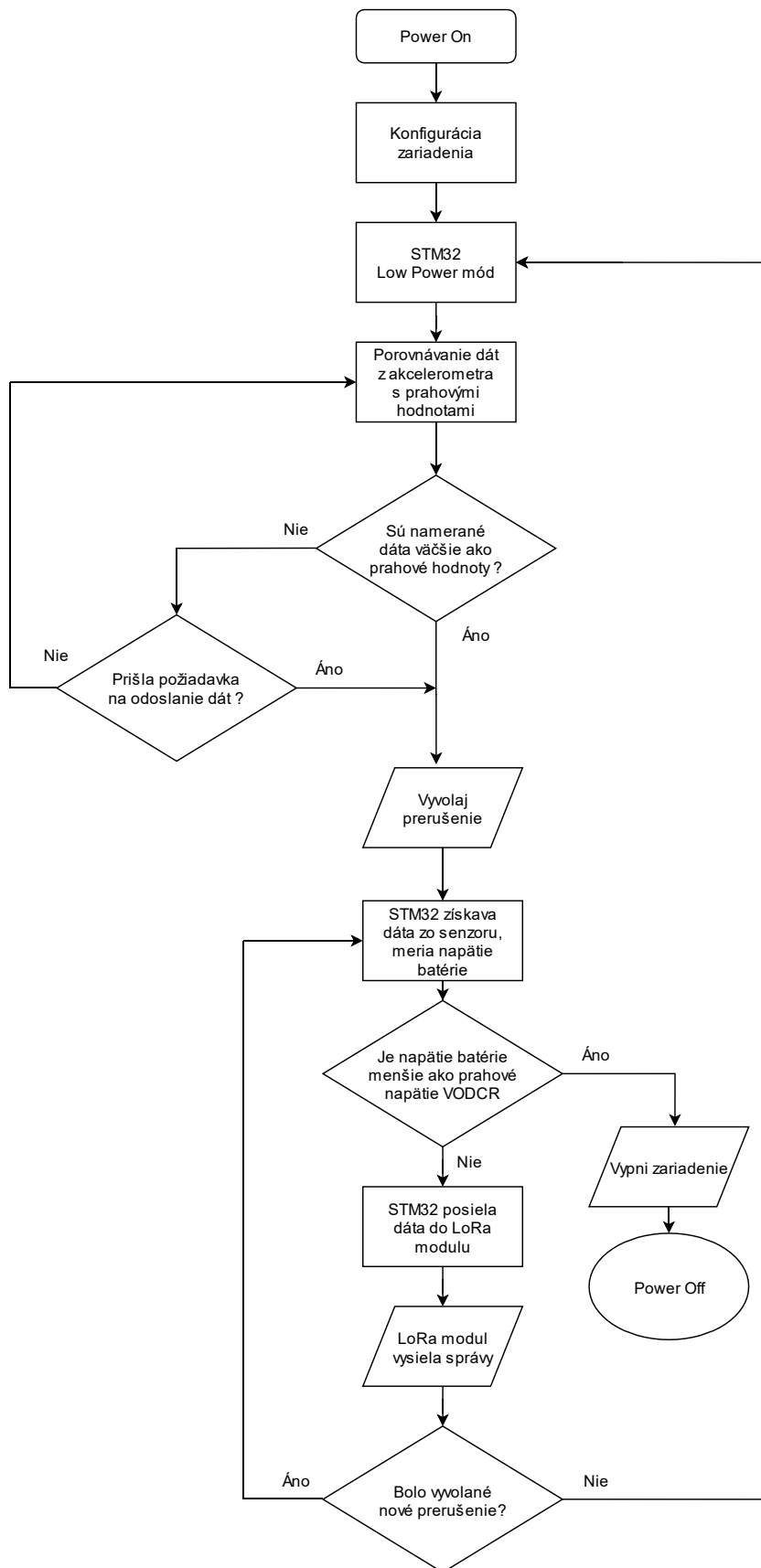
Doska plošných spojov má rozmery 91x34 mm. Anténny konektor SMA je umiestnený takmer v prostriedku takmer v strede dosky a USB konektor je na druhej strane v strede dosky. Na doske sa nachádzajú 3 montážne otvory. Okolo celej dosky je vytvorený guard ring s 2 mm rozstupom prekovených otvorov podľa odporúčania výrobcu LoRa modulu. RF časť obvodu má vlastný guard ring a pod LoRa modulom sa nachádza voľný priestor, ktorý je vyplnený prekovenými otvormi taktiež s 2 mm rozstupom. Pre lepšie RF vlastnosti zariadenia bola snaha o zachovanie čo najväčšej konzistencie vrstvy bottom. Takmer všetky súčiastky sú umiestnené na vrchnej vrstve až na batériové puzdro a NTC rezistor. Celé zábery sú priložené v prílohe.



Obr. 3-8 DPS s detailom na STM32 vrstva TOP

3.6 Princíp činnosti zariadenia

Princíp činnosti zariadenia by mal odpovedať čo najväčšej úspore energie. Zariadenie by malo schopné rozoznať pohyb, buď pomocou akcelerometra alebo magnetometra. Schopnosť detekcie pohybu teda musí prebiehať neustále, ale kontinuálne spracovanie dát zo senzorov pomocou mikroprocesoru a ich odosielanie pomocou komunikačného modulu by bolo veľmi energeticky neúsporné. Zariadenie by sa teda malo nachádzať v akomsi úspornom režime, v ktorom by bolo spustené len meranie akcelerometra v úspornom režime. Senzor pracuje na nízkej frekvencii, čím sa jeho spotreba elektrickej energie podstatne zníži. Pre správnu funkciu senzoru je potrebné nastaviť prahovú hodnotu s ktorou bude senzor porovnávať merané dáta. Ak namerané dáta prekročia túto prahovú hodnotu, senzor vyšle signál pomocou prerušenia do mikroprocesoru. Toto prerušenie vyvolá prebudenie procesora a ten cez I2C zbernicu začne postupne zbierať dáta zo senzoru. Medzi tieto dáta budú patriť hodnoty z akcelerometra pre osy X,Y a Z, hodnoty z magnetometra pre osy X,Y a Z a teplota nameraná snímačom. Následne sa tieto hodnoty spoja do niekoľkých ucelených správ a pomocou UART zbernica sa pošlú do komunikačného modulu, ktorý ich odvysiela. Ak sa zariadenie prestane pohybovať, čiže senzor nebude detekovať väčšie hodnoty ako hodnoty prahové, mikroprocesor prestane odosielať správy do komunikačného modulu a prepne sa do úsporného módu.



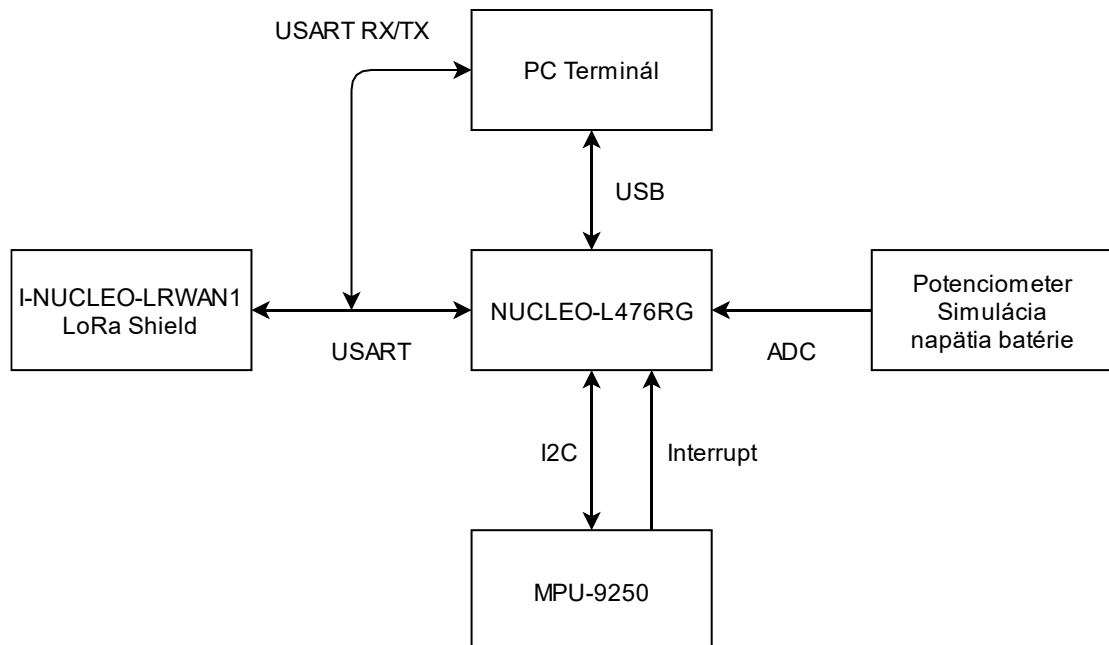
Obr. 3-11 Vývojový diagram základného princípu činnosti zariadenia

3.7 Implementácia firmwaru pomocou vývojových kitov

Pre návrh firmwaru som mal k dispozícii vývojové kity, ktoré obsahovali všetky komponenty k vytvoreniu funkčného programu pre navrhované zariadenie. Procesor STM32 sa nachádzal na doske od firmy STMicroelectronics NUCLEO-L476RG a súčasťou dosky bol integrovaný ST-LINK programátor, ktorý celý vývoj veľmi uľahčil.

Ako LoRa modul bol použitý shield I-NUCLEO-LRWAN1. K dispozícii som však nemal Gateway a preto proces pripojenia LoRa do siete bol sledovaný cez zbernicu a zobrazovaný na terminál PC. Pre zisťovanie pohybu bol použitý senzor MPU-9250.

Program som vyvíjal vo vývojovom prostredí STM32CubeIDE. Tento software je veľmi intuitívny, prehľadný a veľa vecí dokáže nastaviť sám. Ako prvý krok bolo založenie nového projektu kde som zvolil moju vývojovú dosku. Následne som si navolil konfiguráciu pinov a periférií. Pre komunikáciu so senzorom slúži I2C a pre komunikáciu s LoRa modulom USART. Ďalej ADC pre meranie napätia na potenciometri, ktorý simuluje napätie batérie a režim Single-Ended aby sa meralo v porovnaní so zemou, čiže 0V a posledné nastavenie bolo Externý interrupt.

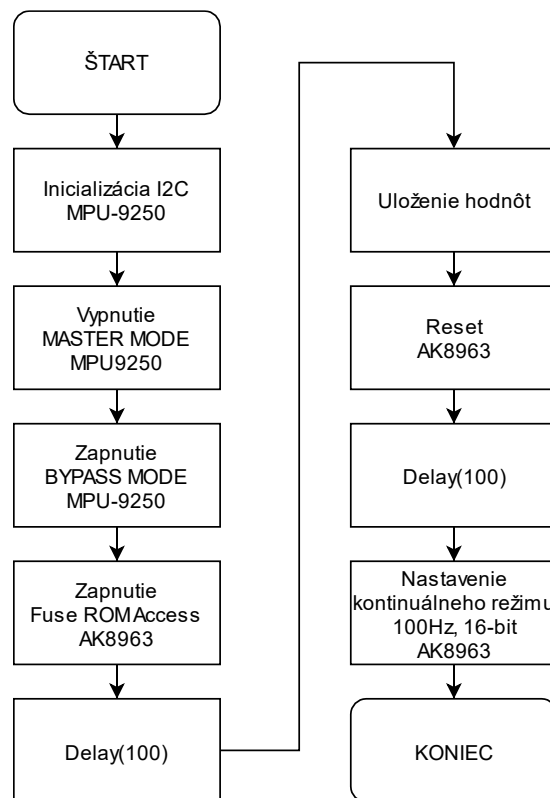


Obr. 3-12 Bloková schéma zapojenia vývojových kitov

3.7.1 Spustenie

Na začiatku programu sa inicializujú periférie GPIO, USART, ADC a LoRa. Hneď potom sa vykoná meranie pre zistenie offsetovej hodnoty akcelerometru a vyčítanie hodnôt upravujúcich citlivosť magnetometru. Pre získanie offsetovej hodnoty akcelerometru je potrebné vykonať niekoľko meraní a výsledky spriemerovať. Pre vyčítanie hodnôt upravujúcich citlivosť magnetometru to je zložitejšie. Magnetometer je na sensorovej doske vedený ako externý senzor a má aj svoju Slave adresu. Hodnoty upravujúce citlivosť magnetometru ASA(axis sensitivity adjustment value) sú uložené vo FUSE ROM pamäti. Aby bolo možné ich načítať, je nutné prepnúť senzor magnetického poľa AK8963 do režimu FUSE ROM Access. Preto najskôr treba deaktivovať MASTER MODE a aktivovať BYPASS MODE na senzore MPU-9250. Následne je možné prepnúť AK8963 do režimu FUSE ROM Access. V tomto momente je možné hodnoty vyčítať, no to ešte nie sú hľadané konštanty. Podľa rovnice [3.2] je nutné tieto hodnoty prepočítať. Ako posledné treba magnetometer resetovať a nastaviť ho do kontinuálneho režimu.

$$asa = \frac{(data - 128) \cdot 0,5}{128} + 1 \quad (3.2)$$



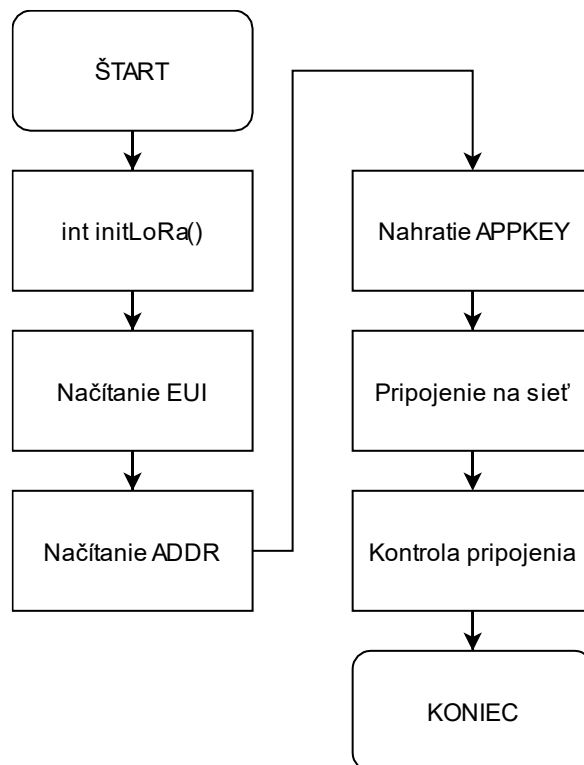
Obr. 3-13 Získanie hodnôt upravujúcich citlivosť magnetometru

3.7.2 Inicializácia LoRa

Pre správne fungovanie a komunikáciu LoRa modulu s Gatewayom je nutné použiť určité AT príkazy výrobcu modulu. Medzi hlavné patria:

- AT+EUI – zistenie/pridelenie EUI čísla zariadenia
- AT+ADDR – zistenie/pridelenie adresy zariadenia
- AT+AK – zadanie/pridelenie aplikačného kľúču
- AT+JOIN – pripojenie na sieť
- AT+JSTA – overenie pripojenia
- AT+TXT – odoslanie modulovaného paketu so správou.

Prvým krok konfigurácie je zistenie EUI čísla, adresy zariadenia a nahranie aplikačného kľúču. EUI číslo a adresa sú uložené v pamäti shieldu a získame ich pomocou zaslania príslušného AT príkazu po UART zbernici. Nasleduje odpoveď zo strany LoRa modulu. Postup konfigurácií je takmer rovnaký pre všetky AT príkazy a preto uvediem príklad len pre získanie EUI čísla.



Obr. 3-14 Postupnosť konfigurácie a pripojenie na LoRa sieť

Po zavolaní funkcie `initLoRa` sa ako prvé nastaví flag `loraEuiRequest`. Následne sa do zásobníku `loraBuf` nahrá string „AT+EUI“ a funkcia `HAL_UART_Transmit` tento string odošle po UARTE do shieldu.

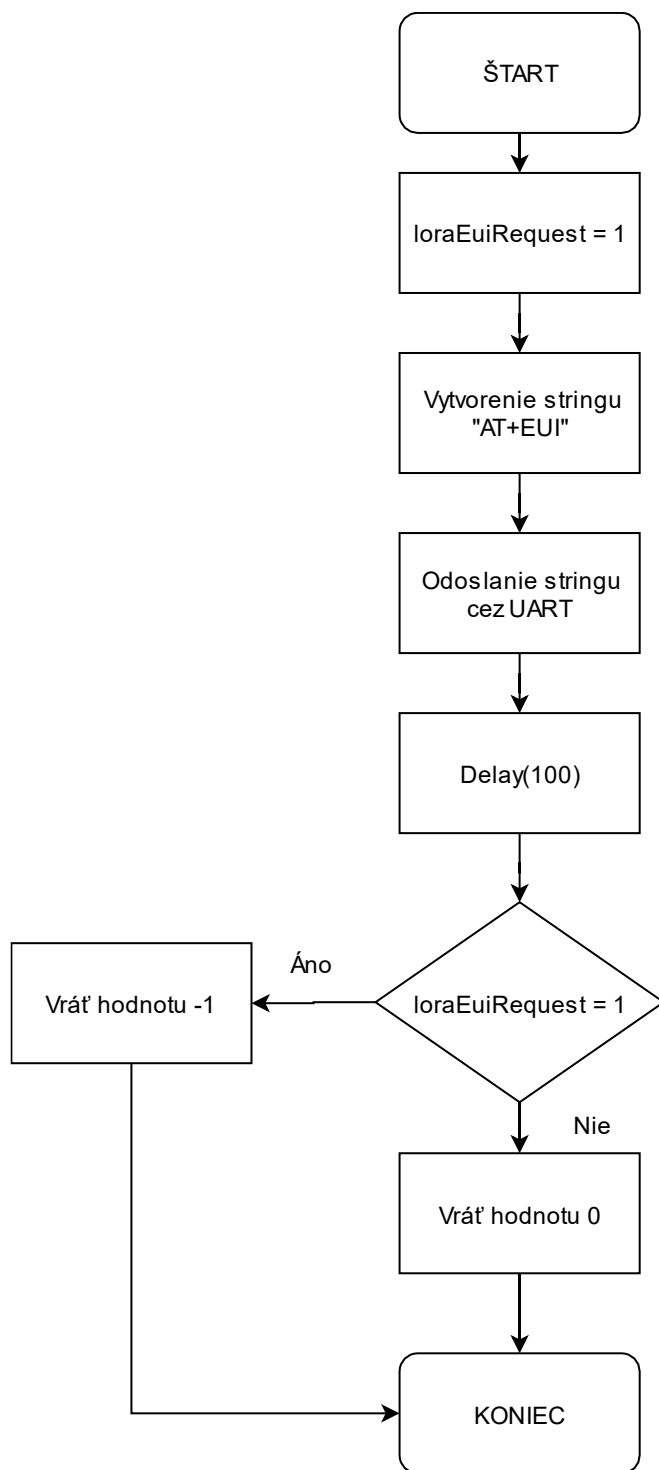
```
loraEuiRequest = 1;
sprintf((char*)loraBuf, "AT+EUI\r");
HAL_UART_Transmit(&huart2, loraBuf, strlen((char*)loraBuf), HAL_MAX_DELAY);
```

Shield správu zachytí, vyhodnotí a pošle naspäť odpoveď, ktorá je v tomto prípade hexadecimálny kód EUI čísla zariadenia ukončená ukončovacím znakom `0xD`. Prichádzajúca správa vyvolá prerušenie `USART2_IRQHandler` a prichádzajúce dáta sa ukladajú do zásobníka `usartRecBuff`, kde sa kontroluje, či prijaté dáta neobsahujú ukončovací znak. Ak sa v nich znak nenachádza, uložia sa do pola `usartCommand`.

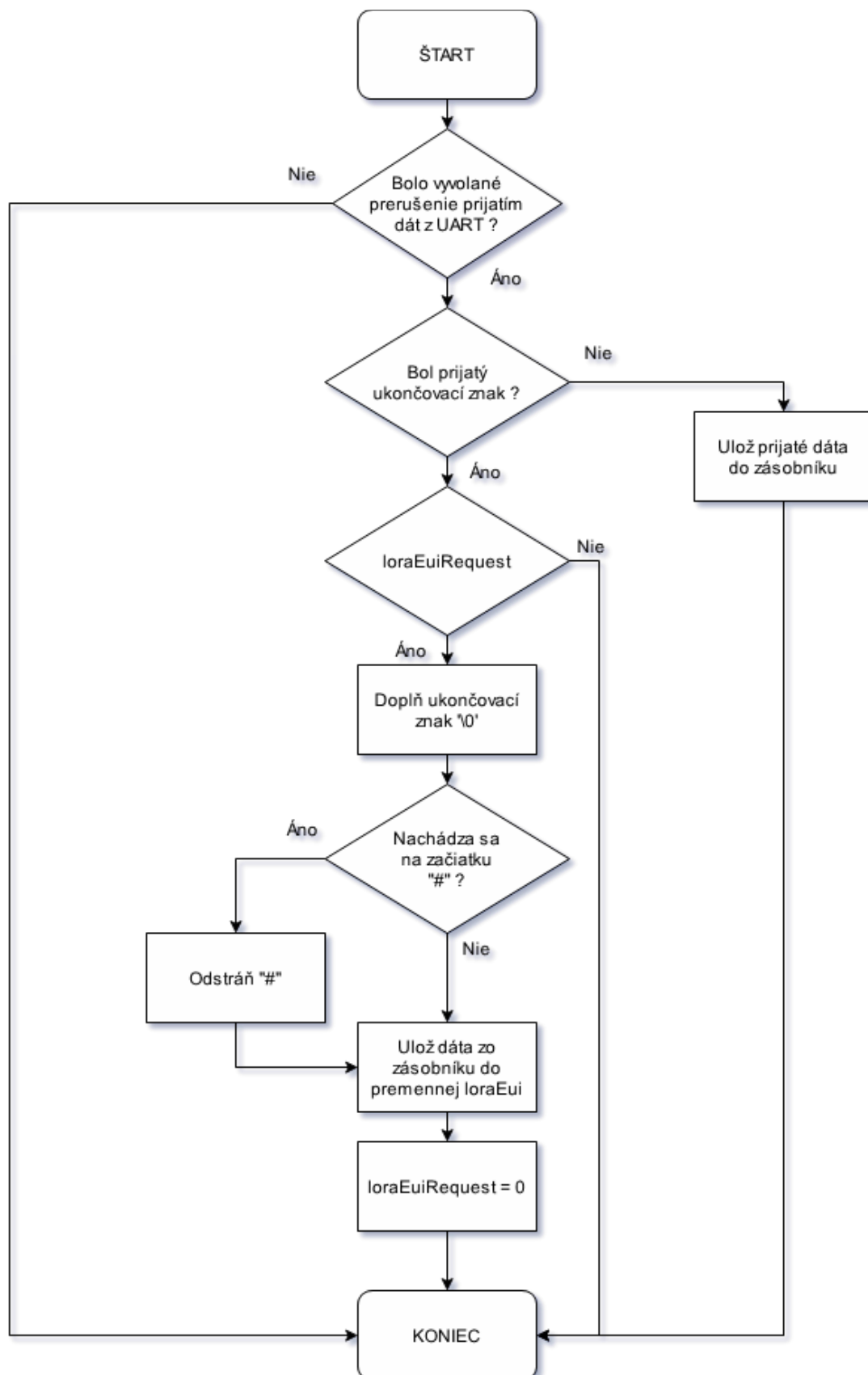
```
usartCommand[usartBuffIndex] = usartRecBuff[0];
usartBuffIndex++;
```

Ak prídu dáta s ukončovacím znakom, prebehne kontrola podľa flagu, ktorý sa nastavil vo funkcii `initLoRa`. Na poslednú pozíciu pola `usartCommand` sa znak `NULL`. Ak správa začínala znakom mriežka zavolá sa funkcia, ktorá tento znak odstráni. Potom sa správa skopíruje do premennej `loraEui` a vyresetuje sa flag `loraEuiRequest`.

```
if(usartRecBuff[0] == 0xD) // if Enter pressed <CR>
{
    if(loraEuiRequest)
    {
        usartCommand[usartBuffIndex] = '\\0';
        if(usartCommand[0] == '#')
        {
            removeHashtag(usartCommand);
        }
        memset(loraEui, 0, sizeof(loraEui));
        strcpy(loraEui, usartCommand);
        loraEuiRequest = 0;
    }
}
```

Obr. 3-15 Proces na odoslanie požiadavky ku zisteniu EUI čísla



Obr. 3-16 Proces získania EUI čísla

3.7.3 Podmienky posielania dát

Dáta by sa mali zo senzoru odosielať vždy pri rozoznaní pohybu zariadenia alebo pri požiadavke zo strany Gatewayu. Na príkaz odoslania dát pri pohybe slúži signál INT zo senzoru privedený na pin PA6 procesoru, ktorý je nastavený ako externý interrupt. Pri jeho vyvolaní sa nastaví flag printData.

```
{
    uint32_t pending = EXTI->PR1;
    if(pending & (1 << 6)) // handle pin 6 here
    {
        EXTI->PR1 = 1 << 6; // Clear pending flag
        printData = 1;
    }
}
```

Pri dopyte o dáta zo strany GW LoRa prijme správu a pošle ju USARTom do procesora. V procesore nastane prerušenie rovnako, ako pri zisťovaní napr. EUI čísla. Daná správa sa uloží a je porovná s referenčnou správou. Ak sa zhodujú, nastaví sa flag printData.

```
else if(strcmp(usartCommand, SEND_DATA_REQUEST) == 0)
{
    printData = 1;
}
```

3.7.4 Formulácia správy a jej odoslanie

Celý proces sformovania správy a jej odoslanie, riadi flag printData v nekonečnej slučke v hlavnej časti programu. Ak je printData flag nastavený začne proces, kde sa postupne volajú jednotlivé funkcie na meranie dát a namerané a upravené dáta sa odosielať. Ako príklad uvádzam volanie funkcie pre meranie zrýchlenia.

```
if(measureAccel() != 0)
{
    // Error reading acceleration
    sprintf((char*)message, "Accel: Error reading");
}
else
{
    sprintf((char*)message, "Accel: [%.2f, %.2f, %.2f]",
        (float)accelX,
        (float)accelY,
        (float)accelZ);
}
transmitMessage(message);
```

Kód zobrazený nižšie je časťou definície funkcie `measureAccel`, ktorá zmeria zrýchlenie pre os X, prevedie číslo na znamienkový tvar a normalizuje výslednú hodnotu.

```
int measureAccel()
{
    uint8_t buf[2];
    if (HAL_I2C_Mem_Read(&hi2c1, MPU9265_ADDR, ACCEL_ADDRESS_X, 1, buf, 2,
        HAL_MAX_DELAY) != HAL_OK)
    {
        return -1;
    }
    else
    {
        accelValRaw[0] = convertToSigned((buf[0] << 8) | buf[1]);
        accelX = (accelValRaw[0] - accOffset[0]) / oneG;
    }
}
```

Volanie funkcie pre zmeranie magnetického poľa a odoslanie údajov

```
if(measureMagn() != 0)
{
    // Error reading magnetometer data
    sprintf((char*)message, "Mag: Error reading");
}
else
{
    sprintf((char*)message, "Mag: [%.2f, %.2f, %.2f]",
        (float)magnX,
        (float)magnY,
        (float)magnZ);
}
transmitMessage(message);
```

Funkcia merania magnetického poľa a normalizácia údajov, pomocou hodnôt upravujúcich citlivosť senzoru.

```
int measureMagn()
{
    uint8_t buffer[7];
    HAL_StatusTypeDef ret;
    ret = readAK8963Registers(0x03, 7, &buffer[0]);
    if (ret != HAL_OK)
    {
        return -1;
    }
    else
    {
        if(!(buffer[6] & 0x08))
        {
            magnValRaw[0] = convertToSigned(buffer[0] | (buffer[1] << 8));
            magnX = magnValRaw[0] * asaH[0];
            magnValRaw[1] = convertToSigned(buffer[2] | (buffer[3] << 8));
            magnY = magnValRaw[1] * asaH[1];
            magnValRaw[2] = convertToSigned(buffer[4] | (buffer[5] << 8));
            magnZ = magnValRaw[2] * asaH[2];
        }
        return 0;
    }
}
```

```
EUI: e2,4f,43,ff,fe,44,c4,2f
AT+TXT=1,4555493a2065322c34662c34332c66662c66652c34342c63342c3266
ADDR: 01,fd,17,f5
AT+TXT=1,414444523a2030312c66642c31372c6635
Voltage: 2.36
AT+TXT=1,566f6c746167653a20322e3336
Temperature: 26.27
AT+TXT=1,54656d70657261747572653a2032362e3237
Accel: [-0.01, -0.01, 1.02]
AT+TXT=1,416363656c3a205b2d302e30312c202d302e30312c20312e30325d
Mag: [-137.91, -20.39, 366.53]
AT+TXT=1,4d61673a205b2d3133372e39312c202d32302e33392c203336362e35335d
```

Obr. 3-17 Vysielané dáta po USART

4. ZÁVER

Prvá časť sa zaoberá technológiami, ktoré prenášajú data v sieti IoT. Treba pochopiť aké sú medzi nimi rozdiely a ktorá technológia je najlepšia pre použitie zariadení tohto typu. Neskôr som pomocou vývojových kitov vyskúšal ako sa zahajuje komunikácia medzi End-Node a Gatewayom a ako si vymieňajú správy. Potom bolo nutné porozmýšľať, aké komponenty sú potrebné na zostrojenie senzoru a nájsť medzi nimi vhodných kandidátov s pohľadom spotreby energie, energetických módov, periférií no a veľkosti. Pri navrhovaní schémy som napríklad narazil na problém, že pôvodný senzor sa prestal vyrábať a jeho alternatíva, nepracovala na rovnakom napätí.

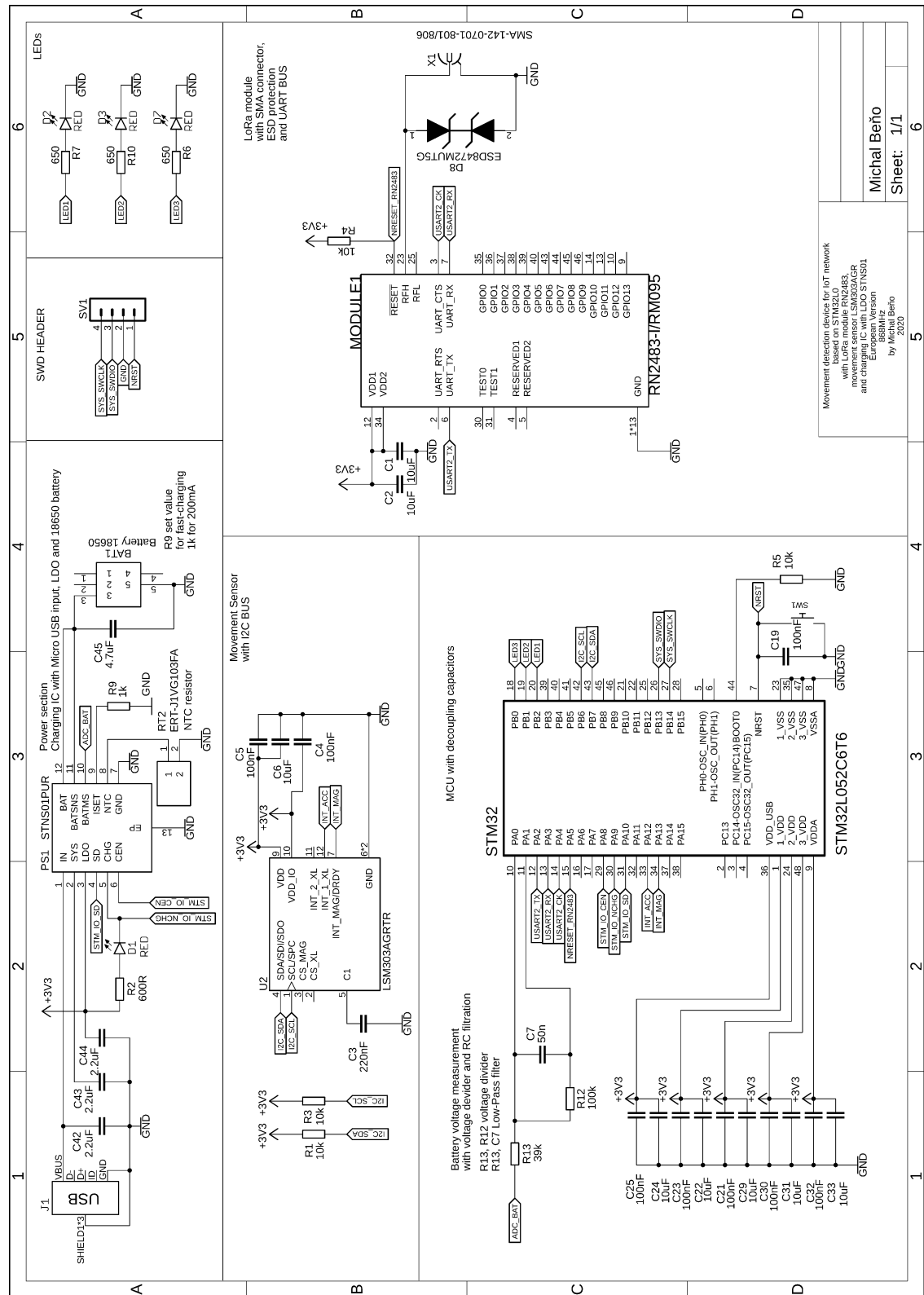
Pri navrhovaní dosky plošných spojov bolo nutné brať ohľad na veľkosť celého zariadenia a aj to, že zariadenie pracuje s rádiovým signálom. Tým pádom museli byť súčiastky rozmiestnené podľa platných pravidiel navrhovania rádiových obvodov. Poslednou časťou bolo zostrojiť funkčný model senzoru prostredníctvom vývojových kitov a implementovať firmware podľa zadania. Programoval som v príjemnom a „user-friendly“ vývojovom prostredí STM32CubeIDE. Počas programovania som narazil na niekoľko problémov, ktoré ma riadne potrápili. Medzi také najdôležitejšie patrí proces, počas ktorého sa získavajú hodnoty pre úpravu citlivosti magnetometra alebo nesprávne meranie pomocou ADC prevodníku, kedy sa po prvom zmeraní nameraná hodnota nezmenila. Nakoniec len bolo potrebné zmeniť hodnotu v registri ADC na `ADC_OVR_DATA_OVERWRITTEN`.

Využitie senzoru by som si vedel predstaviť vo funkciách alarmu na málo sa pohyblivých veciach, objektoch, prostriedkoch. S pridaním ďalších senzorov alebo komunikačných modulov sa možnosti pre senzor len otvárajú.

Literatúra

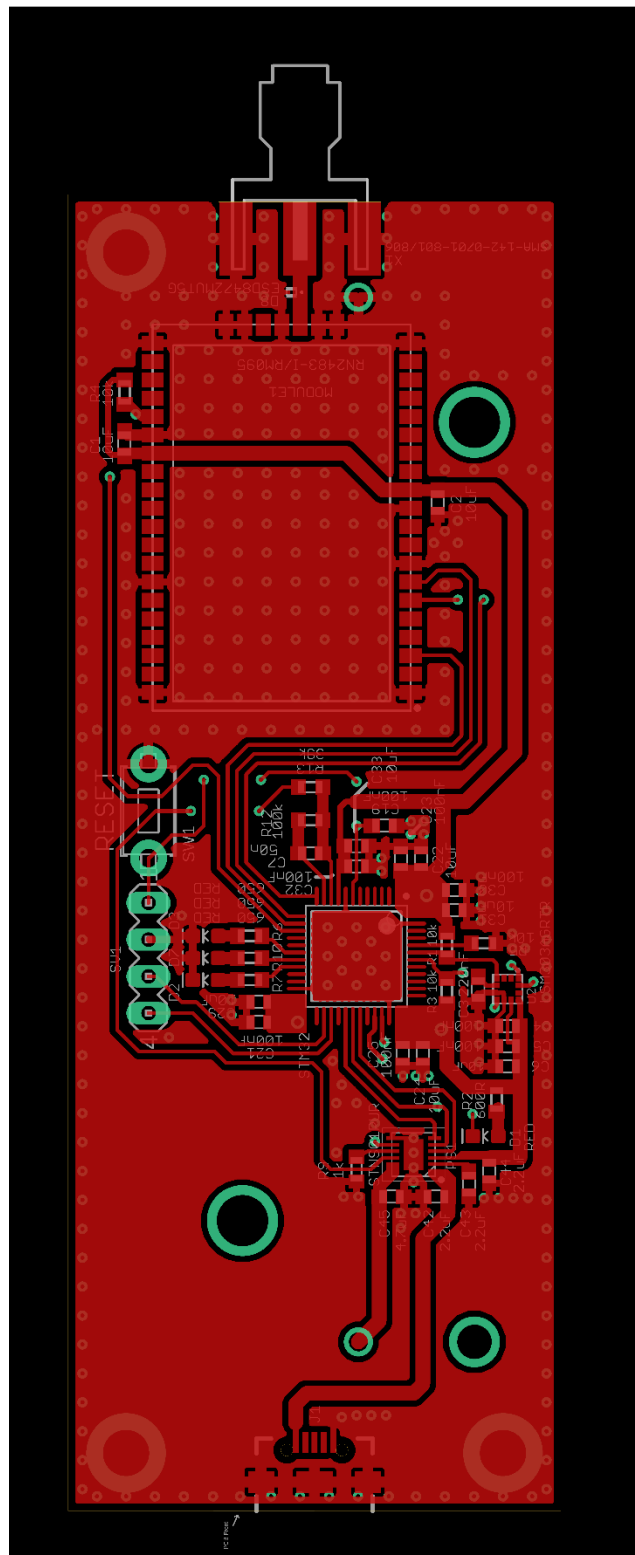
- [1] Co je IoT? In: IoT Portál [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/co-je-iot/>
- [2] SIGFOX-connected fire hydrants help ensure water for firefighting. In: Networkworld.com [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.networkworld.com/article/3100712/internet-of-things/sigfox-connected-fire-hydrants-help-ensure-water-for-firefighting.html>
- [3] Sigfox. In: IoT Portál [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/02/26/sigfox/>
- [4] Giedre Dregvaite; Robertas Damasevicius. Information and Software Technologies: 22nd International Conference, ICIST 2016, Druskininkai, Lithuania, October 13-15, 2016, Proceedings. [s.l.]: Springer, ISBN 978-3-319-46254-7. S. 665–.
- [5] Khaldoun Al Agha; Guy Pujolle; Tara Ali Yahiya. Mobile and Wireless Networks. [s.l.]: Wiley. ISBN 978-1-119-00755-5. S. 241–.
- [6] Sigfox – nejpomalejší síť, kterou by měl chtít každý. ZOOCO Blog [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.zooco.io/blog/sigfox-nejpomalejsi-sit-ktou-by-mel-ctit-kazdy/>
- [7] Verizon carries successful data session on new NB-IoT Guard band network. In: Ericsson [online]. 2018-02-02 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.ericsson.com/en/news/2018/1/verizon-nb-iot-guard-band-network>
- [8] NB-IoT: a sustainable technology for connecting billions of devices. In: Ericsson [online]. 2016-04-25 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.ericsson.com/en/ericsson-technology-review/archive/2016/nb-iot-a-sustainable-technology-for-connecting-billions-of-devices>
- [9] NarrowBand IoT. In: IoT Portál [online]. 2016-04-30 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/04/30/narrowband-iot/>
- [10] A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™ [online]. 2015 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <https://loro-alliance.org/sites/default/files/2018-04/what-is-lorawan.pdf>
- [11] Chirp spread spectrum. In: Wikipedia [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Chirp_spread_spectrum
- [12] LoRa™ Modulation Basics [online]. 2. Semtech Corporation, 2015 [cit. 2020-05-29].
- [13] ADELANTADO, Ferran, Xavier VILAJOSANA, Pere TUSET-PEIRO, Borja MARTINEZ, Joan MELIA-SEGUI a Thomas WATTEYNE. Understanding the Limits of LoRaWAN. IEEE Communications Magazine [online]. 2017, 55(9), 34-40 [cit. 2020-05-29]. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600613. ISSN 0163-6804.
- [14] LoRa Technology. In: OSEL Objective Source E-Learning [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/8732-lora-technology.html>

- [15] LoRaWAN™ 1.0.3 Specification [online]. 2018 [cit. 2020-05-29].
- [16] STM32L0 Series. STMicroelectronics [online]. [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://www.st.com/en/microcontrollers/stm32l0-series.html?querycriteria=productId=SS1817>
- [17] Low-Power Long Range LoRa® Technology Transceiver Module [online]. 2015 [cit. 2020-05-29].
- [18] MPU-9250 Product Specification Revision 1.1. 2016 [cit. 2020-05-30].
- [19] LSM303AGR [online]. 10. 2018 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lsm303agr.pdf>



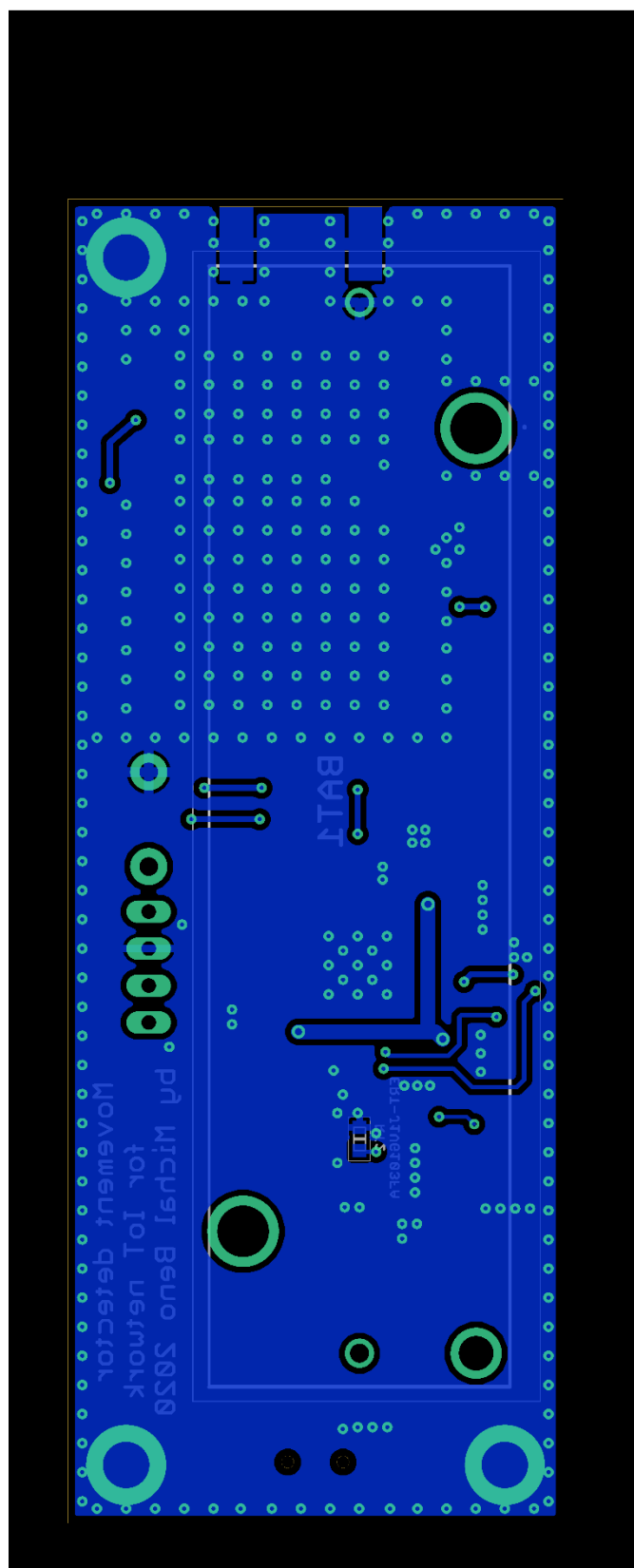
Příloha 2 - Doska plošných spojů

TOP layer



Příloha 3 - Doska plošných spojů

Bottom layer



Osadenie súčiastok



Příloha 5 - Ukážka slučky While z main funkcie

```
while (1)
{
    /* USER CODE END WHILE */
    /* USER CODE BEGIN 3 */
    // Sleep
    HAL_Delay(500);

    if (printData)
    {
        printData = 0;

        unsigned char message[64];
        unsigned char packed[200];
        memset(message, 0, sizeof(message));
        memset(packed, 0, sizeof(packed));

        // Set data sending LED
        HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_SET);

        //-----EUI
        sprintf((char*)message, "EUI: %s", loraEui);
        transmitMessage(message);

        //-----Address
        sprintf((char*)message, "ADDR: %s", loraAddress);
        transmitMessage(message);

        //-----ADC
        if(measureVoltage() == HAL_OK)
        {
            sprintf((char*)message, "Voltage: %.2f", (float)voltage);
        }
        else
        {
            sprintf((char*)message, "Voltage: Error reading");
        }
        transmitMessage(message);

        //-----TEMPERATURE
        if(measureTemperature() != 0)
        {
            // Error reading temperature
            sprintf((char*)message, "Temperature: Error reading");
        }
        else
        {
            sprintf((char*)message, "Temperature: %.2f",
            (float)temperature);
        }
        transmitMessage(message);
    }
}
```

```

//-----ACCELEROMETER
    if(measureAccel() != 0)
    {
        // Error reading acceleration
        sprintf((char*)message, "Accel: Error reading");
    }
    else
    {
        sprintf((char*)message, "Accel: [%.2f, %.2f, %.2f]",
            (float)accelX,
            (float)accelY,
            (float)accelZ);
    }
    transmitMessage(message);

//-----MAGNETOMETER
    if(measureMagn() != 0)
    {
        // Error reading magnetometer data
        sprintf((char*)message, "Mag: Error reading");
    }
    else
    {
        sprintf((char*)message, "Mag: [%.2f, %.2f, %.2f]",
            (float)magnX,
            (float)magnY,
            (float)magnZ);
    }
    transmitMessage(message);

// Clear data sending LED
    HAL_GPIO_WritePin(GPIOA, GPIO_PIN_5, GPIO_PIN_RESET);
}
}
/* USER CODE END 3 */
}

```

Příloha 6 - Zoznam súčiastok

Značenie	Hodnota	Púzdro	Výrobca	Rada	Popis
C1	10uF	0603			Kondenzátor
C2	10uF	0603			Kondenzátor
C3	220nF	0603			Kondenzátor
C4	100nF	0603			Kondenzátor
C5	100nF	0603			Kondenzátor
C6	10uF	0603			Kondenzátor
C7	50n	0603			Kondenzátor
C19	100nF	0603			Kondenzátor
C21	100nF	0603			Kondenzátor
C22	10uF	0603			Kondenzátor
C23	100nF	0603			Kondenzátor
C24	10uF	0603			Kondenzátor
C25	100nF	0603			Kondenzátor
C29	10uF	0603			Kondenzátor
C30	100nF	0603			Kondenzátor
C31	10uF	0603			Kondenzátor
C32	100nF	0603			Kondenzátor
C33	10uF	0603			Kondenzátor
C42	2.2uF	0603	Murata	GRM188R71 A225KE15D	Kondenzátor
C43	2.2uF	0603	Murata		Kondenzátor
C44	2.2uF	0603	Murata		Kondenzátor
C45	4.7uF	0603	Murata		Kondenzátor
R1	10k	0603			Rezistor
R2	600R	0603			Rezistor
R3	10k	0603			Rezistor
R4	10k	0603			Rezistor
R5	10k	0603			Rezistor
R6	650	0603			Rezistor
R7	650	0603			Rezistor
R9	1k	0603			Rezistor
R10	650	0603			Rezistor
R12	100k	0603			Rezistor
R13	39k	0603			Rezistor

Pokračovanie na ďalšej strane.

D1	RED	0603			
D2	RED	0603			
D3	RED	0603			
D7	RED	0603			
D8	ESD8472MUT5G		ON Semiconductor		ESD dióda
STM32		LQFP48	STMicroelectronics	STM32L052 C6T6	Mikroprocesor
MODULE1	RN2483- I/RM095		MICROCHIP		LoRa modul
U2	LSM303AGRTR		STMicroelectronics		e-Compass
PS1	STNS01		STMicroelectronics		Nabíjací obvod s LDO regulátorom
BAT1	Battery 18650		Keystone Electronics	16mm - 19mm PC Battery Clip	Držiak na batériu s pólmy
J1		USB-B- MICRO- SMD			USB Type Micro-B connector
X1	SMA-142-0701- 801/806				SMA konektor 50Ω
SV1		MA04-1			PIN HEADER
SW1					SMD button